

間げき圧を土圧計で測定した三軸圧縮試験

九州大学工学部

く
く
く

正員

く
学生員

内田一郎

○ 松本鎌三
鬼塚克忠
田中拓郎

1. まえがき

三軸圧縮試験において、飽和土の間げき水圧測定には、これまで細いU字管による零指示計が広く用いられてきた。道路、堤防など締固めて造った土の構造物は不飽和である。この零指示計で不飽和土の間げき空気圧の測定が簡単にできないことは、山田、坂田の試験報告¹⁾、磁器製フィルターを併用したGibbsらの試験²⁾などをみればわかる。したがって、不飽和土の間げき圧を測定した資料は飽和土にくらべて少ない。三軸圧縮試験の間げき圧の測定をストレインゲージを利用した圧力計（以下これを土圧計と呼ぶ）で試みられたことがある³⁾。この方法が普及しないのは、零指示計に比べて劣った点が多かったからであろう。しかし、近ごろ土圧計器の進歩に伴って、小型土圧計の開発が進められている。著者らは小型土圧計を用いて、まず不飽和土の非排水試験を行ない、間げき空気圧を測定した。その結果、今後改良を加えることができれば、土圧計が間げき空気圧の測定に役立ちそうに考えられるので、その装置、試験方法と結果、問題点などを報告する。

2. 試料

飽和土試料には九州大学構内で採取した粘土を、不飽和土試料には福岡市金山産のマサ土の5mmフルイ通過を用いた。これらの物理的性質を表-1に示す。

表-1 試料の物理的性質

試料	飽和比重	LL	PI	粒 度				三角座標による分類	備 考
				レキ	砂	シルト	粘土		
九大粘土	2.71	116	77	0	0	50.0	50.0	粘土	乱さない
金山土	2.65	36	5	8.1	63.1	21.3	7.5	砂質ローム	乱した土

3. 測定装置

測定装置の概略を図-1に示す。

3.1 土圧計：用いた土圧計は図-2に示すようなワイヤーストレインゲージ型で、外径50mm、高さ27mm、受圧板の直径40mm、測定範囲は+3~-1 kg/cm²である。受圧板は5mm中の外縁より0.2mm低い。このため垂直軸圧は土圧計にのせた直径50mm、厚さ5mmの有孔円板を

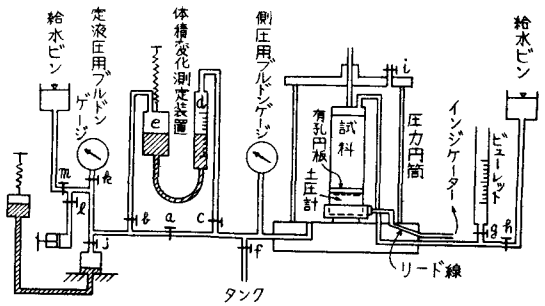
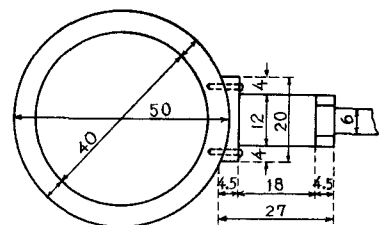


図-1 三軸圧縮試験装置

平面図



側面図

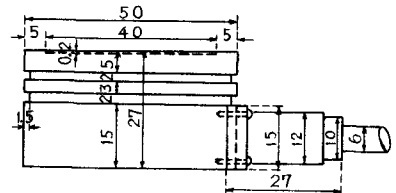


図-2 土圧計 (単位mm)

疑て、土圧計の外縁で支持される。水圧で測定した土圧計のよみの誤差は0.02 kg/cm²である。

3.2 ストレインソジゲーター，体積変化測定装置，定液圧装置：これらについての説明は省略する。

4. 供試体

不飽和土供試体は予定の含水比と密度とを得るように調整した試料を鉄製円筒につめて，上下両端から圧縮したあとで，直径5 cm，高さ12.5 cmの供試体を押したした。

5. 試験方法

試験の順序は(1)土圧計の零調整，(2)体積変化測定装置のキャリブレーション，(3)セン断試験の3段階で行なった。(2)にわいて，水銀柱dの静止には相当長時間を要することは図-3のとおりである。しかし，この試験では水銀柱dは30分後に測定することにした。セン断速度は0.9 %/minである。

6. 試験結果と考察

飽和土供試体を用いて，ビューレットと水銀柱dとで体積変化を測定し，同時に土圧計で間げき水圧を測定した。その1例が図-4である。

不飽和土の間げき圧は一般に次式で表わされる^{*)}。

$$u = u_a + u_c$$

$$u_a = \frac{p_a \Delta v}{v_a + h v_w - \Delta v} , \quad u_c = -T_s \left[\frac{1}{\eta_1} + \frac{1}{\eta_2} \right]$$

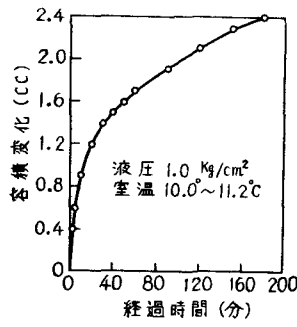


図-3 圧力円筒などの容積変化と時間

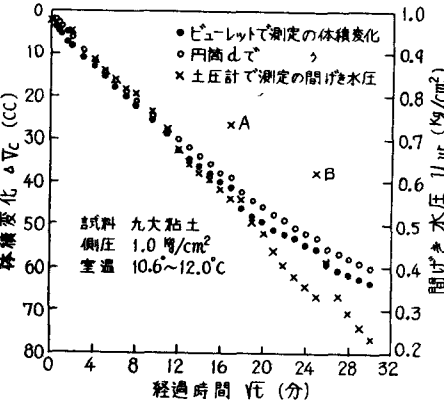


図-4 供試体の容積変化，間げき水圧と時間

表-2 金山マサ土の三軸圧縮試験結果 (注) 試験番号5のu₀, u_fは間げき水圧

試験番号	側圧 σ ₃ (kg)	含水比 w(%)	乾燥密度 γ _d (g/cm³)	初期間げき比 e	飽和度 S _r (%)	最大軸差応力 σ ₁ -σ ₃ (kg/cm²)	最大軸差応力時ひずみ E _f	等方圧縮終了時体積変化率 ΔV _f	最大軸差応力時体積変化率 ΔV _f	供試体セット時空気含有率 v _a	等方圧縮終了時土圧計読み U ₀ (kg/cm²)	等方圧縮終了時土圧計計算値 U ₀ (kg/cm²)	最大軸差応力時土圧計読み U _f (kg/cm²)	最大軸差応力時土圧計計算値 U _f (kg/cm²)	最大軸差応力時土圧計読み U _f (kg/cm²)	最大軸差応力時土圧計計算値 U _f (kg/cm²)	全応力によるせん断抵抗角 φ _u	有効応力によるせん断抵抗角 φ _{u'}	見かけのせん断抵抗角 φ'	見かけのせん断抵抗角 C(%)
1	0.5	0	1.606	0.636	0	2.92	5.28	0.013	0.007	0.389	0.05	0.04	0.02	0.02			43°07'	0.107	44°54'	0.152
	1.0	0	1.554	0.686	0	4.23	8.31	0.027	0.038	0.407	0.07	0.07	0.10	0.11						
	1.5	0	1.656	0.587	0	7.34	9.94	0.035	0.046	0.370	0.08	0.11	0.08	0.15						
	2.0	0	1.627	0.615	0	9.08	8.78	0.068	0.083	0.381	0.11	0.22	0.18	0.28						
2	0.5	10.7	1.663	0.580	48.5	2.29	8.20	0.014	0.010	0.190	0.06	0.08	0.03	0.06			34°01'	0.233	34°57'	0.251
	1.0	9.8	1.546	0.700	36.8	3.28	14.24	0.012	0.023	0.261	0.08	0.05	0.11	0.10						
	1.5	9.7	1.550	0.645	36.7	4.52	11.91	0.014	0.040	0.261	0.09	0.06	0.18	0.18						
	2.0	11.7	1.622	0.581	52.9	6.10	12.79	0.033	0.050	0.174	0.15	0.24	0.23	0.41						
3	0.5	14.8	1.605	0.637	61.1	2.03	16.58	0.019	0.004	0.153	0.10	0.14	0.02	0.03			28°25'	0.295	36°19'	0.107
	1.0	14.7	1.564	0.680	56.8	2.54	16.07	0.014	0.029	0.176	0.14	0.09	0.25	0.19						
	1.5	14.8	1.590	0.653	59.6	3.86	10.71	0.029	0.045	0.160	0.19	0.22	0.30	0.37						
	2.0	14.9	1.538	0.704	55.2	4.61	15.09	0.043	0.079	0.186	0.25	0.29	0.57	0.64						
4	0.5	19.5	1.561	0.684	74.9	1.15	15.26	0.017	0.022	0.102	0.16	0.20	0.18	0.26			20°30'	0.221	33°47'	0.089
	1.0	19.6	1.609	0.633	81.4	1.87	9.13	0.028	0.038	0.073	0.32	0.57	0.41	0.91						
	1.5	19.6	1.567	0.677	76.1	1.96	10.43	0.049	0.069	0.097	0.50	0.93	0.85	1.92						
	2.0	19.7	1.565	0.679	76.2	2.91	16.15	0.048	0.073	0.097	0.57	0.90	1.09	2.28						
5	0.5	22.6	1.646	0.597	99.5	0.66	16.60	0.017	0.018	0.003	0.46		0.33				0°03'	0.324		
	1.0	23.7	1.598	0.645	96.6	0.67	14.76	0.042	0.047	0.014	0.79		0.77							
	1.5	24.3	1.617	0.625	102.2	0.68	10.92	0.042	0.045	0	1.32		1.31							

ここに、 u ：間げき圧、 u_a ：
 空気圧、 u_c ：毛細管圧、 p_a ：初
 期間げき空気圧（大気圧、 1.03
 kg/cm^2 ）、 ΔV ：供試体全体積に対
 する体積変化率、 v_a ：供試体全
 体積に対する空気の含有率、 w ：
 供試体全体積に対する水の含
 有率、 h ：Henryの空気溶解率
 （ 0.02 を使用）、 T_s ：表面張力、
 r_1, r_2 ：曲率半径

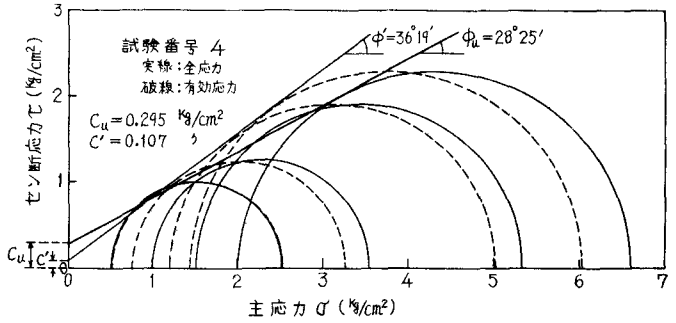


図-5 モール応力円（金山マサ土）

上式でわかるように、不飽和土の強度特性を
 厳密に解明するためには、空気圧と毛細管圧を
 分離して測定する必要がある。ここではその1
 段階として、供試体底部の間げき空気圧を測定
 した。その結果を表-2に示す。また、図-5
 にモール応力円を、図-6に間げき空気圧・側
 圧・飽和度の関係を、図-7に軸差応力、間げ
 き空気圧、体積変化と軸ひずみの関係を示す。

表と図の中で“有効応力”と称するのは、全
 応力から間げき空気圧を差引いたものを仮にそ
 う呼んだもので、毛細管圧は全く考えていない。

以上の結果から、つぎのことがいえそうであ
 る。

(1). 図-4によれば、ビューレットと水銀柱
 d とで測定した体積変化は初期を除けば可なり
 よく一致する。側圧一定で飽和土供試体の排水
 を中止すると、A、B点のように間げき水压の
 上昇がおこる。この原因についてはよくわから
 ない。

(2). 表-2に示すように等方圧縮終了時の体
 積変化率 ΔV_0 にバラツキがあるのは、体積変化
 測定装置の欠点からと、供試体とゴムスリー
 プの間に存在する空気から生じたものであろう。

(3). 表-2と図-6とに見るように、等方圧
 縮終了時および軸差応力最大時において、側圧
 が小、飽和度が小の条件では、間げき空気圧の

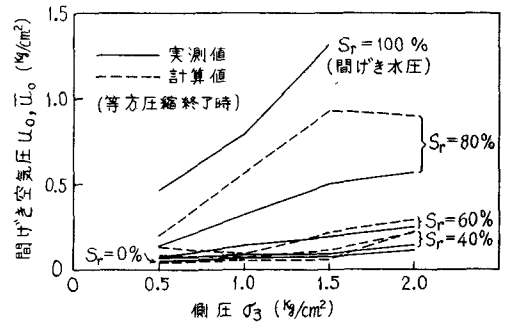


図-6 間げき空気圧・側圧・飽和度の関係

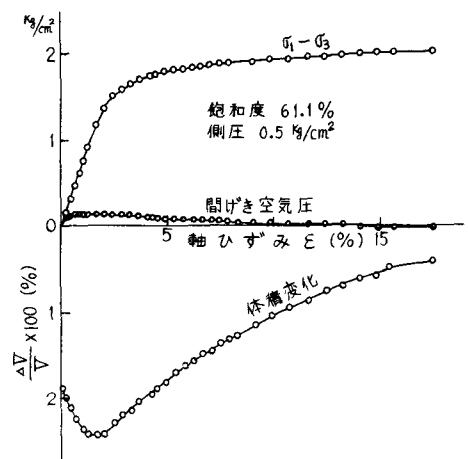


図-7 軸差応力、間げき空気圧、体積変化と軸ひずみの関係

実測値と計算値とは可なりよく合っている。これは飽和度が高くなると空気含有率が小さくなるので、体積変化の測定誤差が間げき空気圧に大きく影響するためと考えられる。

(4). 図-6 の $S_r=100\%$ の供試体では、間げき水圧が側圧より大分小さい。これは綿固めた供試体自身が完全飽和でないのと、供試体とゴムスリーブの間に空気が残存していたためである。完全飽和粘土では図-4 のように側圧に近い値が得られた。

(5). 表-2 によると、全応力セン断抵抗角 ϕ_u は飽和度の増加と共に小さくなる。有効応力によるセン断抵抗角 ϕ'_u は ϕ_u より大きい。

7. 試験装置の問題点

(1). 本装置では不飽和土の圧密非排水(後)試験の間げき空気圧の測定と、不飽和土中を下から上へ水を通して飽和させる操作が不可能である。

(2). 土圧計は現在まで3ヶ月使用して故障はない。しかし、その性能を保ち得る期間が不明である。また、土圧計の交換にはリード線のコネクターを取りはずさねばならない不便がある。

(3). 体積変化測定装置は冬季にビニール管が硬化し、水銀そうじの自由移動が拘束されて測定が不正確となる。また、水銀柱 d の静止までに長時間を要し、試験のたびにキャリブレーションが必要である。したがって恒温室が必要となる。

(4). 不飽和土供試体の場合は、供試体以外の空気量、すなわち供試体とゴムスリーブとの間の空気量および土圧計上部の空気量が大きすぎる。これを最小限度にとどめる必要がある。

8. むすび

上に述べたように、本装置には多くの問題点がある。しかし、(1) 飽和土の間げき水圧と不飽和土の間げき空気圧を簡単に測定できる、(2) 零指示計において必要な気ほうを抜く面倒がない、(3) 排水、排気しながら間げき圧の測定ができる、などの利点がある。したがって、三軸圧縮試験の間げき圧測定に土圧計の利用も捨てがたいと考えられる。

参 考 文 献

1) 山田隆康, 坂田資宏: "綿固めた不飽和粘性土の変形について", 土質工学会, 第11回土質工学会シンポジウム, p. 73~79, 昭和41年.

2) H. J. Gibbs and others: "Shear Strength of Cohesive Soils." p. 79~84, Research Conference on Shear Strength of Cohesive Soils. Jun., 1960.

3) 土質工学会: "土質試験法", p. 322, 昭和40年版.

4) 文献 2) p. 76